

Sistema para a Predição do Crescimento da Cortiça

Alice Almeida* e Margarida Tomé**

*Mestre em Engenharia dos Materiais Lenhocelulósicos

**Professora Catedrática

Instituto Superior de Agronomia. Departamento de Engenharia Florestal, Tapada da Ajuda, 1349-107 LISBOA

Sumário. O crescimento da cortiça foi modelado com base em dois modelos: um modelo para a simulação do crescimento da cortiça em anéis completos e outro para a predição do calibre da cortiça. Desenvolveu-se o modelo de crescimento da cortiça em anéis completos a partir de 189 amostras de cortiça recolhidas ao nível do diâmetro à altura do peito. Foram consideradas quatro funções de crescimento de base biológica nas suas diversas formulações como equações às diferenças. A avaliação do ajustamento e da capacidade preditiva dos modelos realizou-se através da análise de estatísticas da capacidade preditiva, complementada com a análise dos pressupostos da regressão. O modelo seleccionado - Lundqvist-A - permite estimar a espessura em anéis completos da cortiça em qualquer ano de rotação da cortiça. O modelo de predição do calibre da cortiça desenvolvido permite estimar o calibre de cortiças de qualquer idade, a partir da espessura acumulada em anéis completos.

Palavras-chave: crescimento da cortiça; espessura acumulada em anéis completos; predição calibre da cortiça; modelos de crescimento

System for the Prediction of the Cork Growth

Abstract. Cork growth modelling was based on two models: cork growth model for complete rings and a model for total cork thickness prediction. The cork growth model was developed using data from 189 cork samples taken at breast height. Four biological growth functions were considered using their formulation as difference equations. The evaluation of the fitting and predictive ability of the models was based on model efficiency and on several statistics computed with the press residuals, complemented with graphical analysis to assess the regression assumptions. The model selected - Lundqvist-A - can be used to predict cork thickness in complete rings at any year of the cork rotation. The model for the prediction of total cork thickness is used to predict total cork thickness from the thickness in complete rings.

Key words: cork growth; accumulated cork thickness in complete rings; total cork thickness prediction; growth models

Système pour la Prédiction de la Croissance du Liège

Résumé. La modélisation de la croissance du liège a pour base deux modèles: un modèle pour simuler la croissance du liège en anneaux complets e un autre pour prédire le calibre du liège. Le développement du modèle de croissance du liège, en anneaux complets, à partir de 189

exemplaires de liège, recueillis au niveau du diamètre à hauteur de poitrine. Quatre fonctions de croissance de base biologique furent considérées dans la formulation des équations différentielles. L'évaluation de l'ajustement et de la capacité prédictive des modèles se réalisa à travers l'analyse statistique de la capacité prédictive, en complément de l'analyse des hypothèses de régression. Le modèle sélectionné - Lundqvist-A - permet l'estimation de l'épaisseur des anneaux complets du liège pour n'importe quelle rotation du liège. Le modèle développé de prédiction du calibre du liège permet l'estimation du calibre du liège à partir de l'épaisseur accumulée des anneaux complets, indépendamment de l'âge.

Mots clés: croissance du liège; épaisseur accumulée en anneaux complets; prédiction du calibre du liège; modèles de croissance

Introdução

Portugal é o maior produtor de cortiça tendo produzido em 2002 cerca de 185 mil toneladas, o que corresponde a 54% da produção mundial (APCOR, 2003).

A cortiça é uma matéria prima com múltiplas aplicações em diversos sectores, sendo o sector vinícola o maior consumidor dos produtos de cortiça.

A qualidade da cortiça constitui um dos factores determinantes para a definição do seu valor comercial e para a sua utilização industrial. A avaliação da qualidade das pranchas de cortiça consiste na apreciação da porosidade e da presença e extensão de defeitos (LIESE *et al.*, 1983). Um outro factor que determina a utilização da cortiça no fabrico de rolhas, o produto mais valioso da fileira da cortiça, é o calibre, uma vez que as rolhas são brocadas perpendicularmente à secção transversal da prancha. O calibre depende da taxa de crescimento anual da cortiça e do número de anos de criação, que corresponde ao número de anos entre duas tiradas consecutivas de cortiça. Em Portugal fixou-se em 9 anos, a idade mínima de criação da cortiça (NATIVIDADE, 1950).

A valorização da cortiça depende assim da qualidade e do respectivo

calibre, sendo as cortiças de 1^a classe de qualidade, com calibres entre 27 e 40 mm, as mais valorizadas no mercado, pois permitem produzir rolhas de cortiça natural, para vedação de garrafas de vinho. Cortiças mais finas são utilizadas no fabrico de discos de rolhas de champanhe e no fabrico de rolhas de vinho do porto. As cortiças com calibre superior a 40 mm, originam uma maior percentagem de desperdícios (ADRADOS *et al.*, 2000).

Em Portugal, o descortiçamento é geralmente feito de 9 em 9 anos. No entanto, põe-se com frequência a questão se será preferível alargar ou reduzir o intervalo entre descortiçamentos, no caso da cortiça se caracterizar por calibres "delgados" ou por calibres "grossos", respectivamente.

Assim, é importante ter modelos que permitam estimar o crescimento da cortiça, de forma a avaliar se o descortiçamento deve ou não ser adiado ou antecipado, de modo a obter cortiças que maximizem a produção de rolhas de cortiça natural.

Em Portugal foi desenvolvido um primeiro modelo de crescimento da cortiça (TOMÉ *et al.*, 1998; TOMÉ *et al.*, 1999) baseado apenas em 43 calas (cala define-se como uma amostra de cortiça retirada à altura de 1,30 m, com aproximadamente 20x20 cm), provenientes da

indústria e portanto de vários locais do país, não identificados.

O objectivo do presente trabalho é obter um novo modelo baseado num maior número de amostras, de forma a garantir uma boa representação de várias regiões e calibres.

Material e métodos

Metodologia para o desenvolvimento do modelo

A modelação do crescimento da cortiça torna-se importante a partir da primeira extracção. De acordo com a legislação actual, o calibre esperado ao fim de 9 anos (8 anos completos) parece ser um índice adequado para indicar a capacidade de crescimento da cortiça.

A modelação do crescimento da cortiça pode ser feita com base em medições feitas em cortiças cruas ou cortiças após cozedura. Optou-se por realizar as medições em amostras de cortiça já cozida, uma vez que a indústria

avalia o calibre após cozedura. O calibre após cozedura (ct) é, posteriormente, convertido em calibre na árvore (ctbb), assumindo um acréscimo de 12,6% ($ctbb = ct/1,126$), valor médio de todas as amostras de cortiça disponíveis na base de dados SUBER-DATA (COELHO *et al.*, 2002).

A cortiça é extraída durante o período de crescimento, iniciando-se o crescimento da nova cortiça pouco tempo após a extracção. O primeiro anel de crescimento é portanto um anel incompleto (Figura 1). Do mesmo modo, o último anel é também incompleto. O calibre de uma cortiça com t anos é igual à espessura acumulada em t-1 anos completos acrescida das espessuras dos dois meios anéis (inicial e final). A modelação do crescimento da cortiça inclui assim dois sub-modelos:

1. sub-modelo para o crescimento da cortiça em anéis completos;
2. sub-modelo para a predição do calibre da cortiça a partir da correspondente espessura em anéis completos.

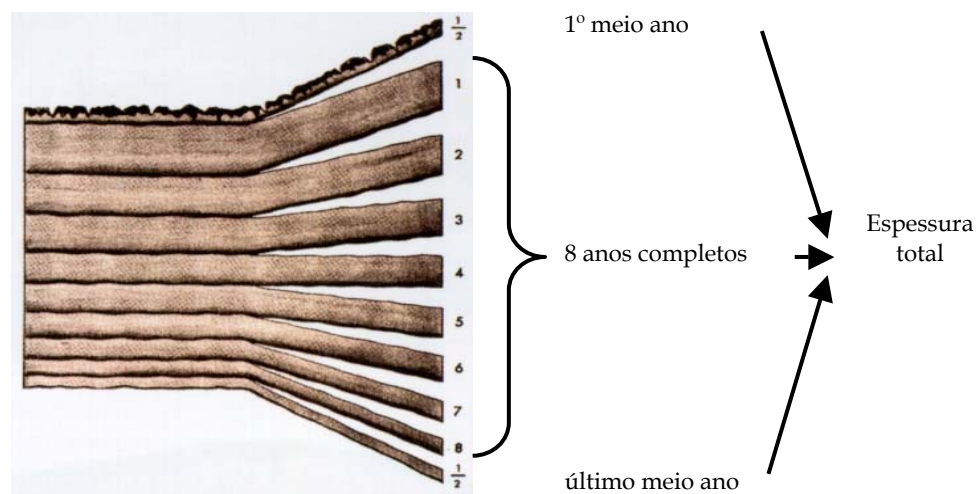


Figura 1 - Esquema de uma amostra de cortiça com 9 anos, mostrando os 8 anéis completos e os dois meios anos, inicial e final

Dados

Os dados utilizados no desenvolvimento do modelo de crescimento da cortiça, para além dos utilizados no primeiro modelo (TOMÉ *et al.*, 1998; TOMÉ *et al.*, 1999), são provenientes do projecto PAMAF 4053 (PAMAF, 1999), que tinha como objectivo a caracterização da qualidade das cortiças de Portugal. No total utilizaram-se 189 amostras de cortiça amadia recolhidas ao nível do diâmetro à altura do peito (dap), com idades compreendidas entre 8 e 16 anos. Em cada amostra foi medido o calibre com raspa e meios anos e a espessura de cada um dos anéis de crescimento

completos, a que correspondem 1545 períodos de crescimento. No ajustamento do modelo de crescimento apenas foram considerados os anéis de crescimento completos. No Quadro 1 caracterizam-se sumariamente estes dados.

O modelo de predição do calibre da cortiça foi desenvolvido com base nos dados de 206 amostras de cortiça amadia, pois às amostras utilizadas na modelação do crescimento acrescentaram-se amostras adicionais consideradas representativas de cortiças com idades entre 5 e 7 anos. O Quadro 2 caracteriza de modo sumário estes dados.

Quadro 1 - Caracterização do conjunto de dados utilizado no desenvolvimento do modelo de crescimento da cortiça

Variável	Nº de Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
tc (anos)	189	10,17	1,52	8	16
ct (mm)	189	36,28	9,27	18,10	73,60
ctring ₁ (mm)	189	4,47	1,40	1,70	9,59
ctring ₂	189	8,90	2,65	3,51	19,81
ctring ₃	189	12,78	3,62	5,23	27,63
ctring ₄	189	16,31	4,52	6,28	31,47
ctring ₅	189	19,29	5,28	7,68	36,15
ctring ₆	189	22,09	5,87	9,55	41,36
ctring ₇	188	24,71	6,44	10,64	46,00
ctring ₈	108	26,41	6,93	11,82	49,75
ctring ₉	53	26,66	5,37	17,74	42,54
ctring ₁₀	24	27,64	5,88	18,79	41,43
ctring ₁₁	23	29,64	6,29	19,75	44,57
ctring ₁₂	11	33,34	7,72	21,15	46,70
ctring ₁₃	2	30,15	6,04	25,88	34,42
ctring ₁₄	2	31,98	6,52	27,37	36,59

tc - idade da cortiça; ct - calibre; ctring_i - espessura do anel i

Quadro 2 - Caracterização do conjunto de dados utilizado no desenvolvimento do modelo de predição do calibre da cortiça

Variável	Nº de Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
tc (anos)	206	9,23	1,23	5	12
ct1 (mm)	206	28,44	7,60	9,18	54,54
ct (mm)	206	34,36	8,80	14,00	63,00

tc - idade da cortiça; ct1 - espessura em anos completos; ct - calibre

Modelos testados na modelação do crescimento da cortiça ao nível do dap

Para modelar o crescimento da cortiça seleccionaram-se da bibliografia quatro funções de crescimento de base biológica: função de Schumacher, função de Lundqvist que é uma generalização da função anterior, função de Richards e função Monomolecular, a qual é um caso particular da função de Richards. Foi utilizado o método das equações às diferenças (BORDERS *et al.*, 1984), no qual o valor de uma variável na idade t_2 é obtido a partir do respectivo valor na idade t_1 e das duas idades t_1 e t_2 . A variável estudada foi a espessura acumulada de cortiça após t_1 anos completos de crescimento (ct_1).

No Quadro 3 encontram-se as diferentes formulações das funções de crescimento seleccionadas como equações às diferenças. As diferentes formas de uma mesma função estão indexadas pelo parâmetro livre: A - assíntota variável; k - k variável e m - m variável.

Modelo para a predição do calibre da cortiça e da espessura acumulada

Em modelos de crescimento é necessário prever o calibre da cortiça em função da correspondente espessura acumulada em anos completos. Contudo, para inicializar o modelo com dados de

inventário florestal é necessário, pelo contrário, prever a espessura acumulada em anos completos em função do calibre medido no inventário.

A análise gráfica da relação entre a razão ct/ct_1 (calibre da cortiça e a correspondente espessura acumulada em anos completos) e a espessura acumulada da cortiça em anos completos (ct_1) mostra, como seria de esperar, um padrão decrescente (Figura 2). A forma desta relação segue aproximadamente uma hipérbole. A mesma relação existe também com a idade, embora esta relação seja difícil de visualizar graficamente devido à grande variabilidade de calibres para a mesma idade. A variável ct_1 não pode funcionar como variável regressora visto ser também variável a prever, eq. (2) pelo que foi substituída pela variável número de anos completos (tc_1).

Utilizaram-se assim os seguintes modelos para a predição do calibre da cortiça e da espessura acumulada em anos completos:

$$ct_{tc} = \frac{tc_1}{a + \beta tc_1} ct_1_{tc} \quad (1)$$

$$ct_1_{tc} = \frac{a + \beta tc_1}{tc_1} ct_{tc} \quad (2)$$

onde: ct_{tc} é o calibre de uma cortiça com tc anos, $tc_1 = tc - 1$ é o número de anéis completos, α e β são constantes a determinar e ct_1_{tc} é a correspondente espessura acumulada em anos completos.

Quadro 3 - Funções de crescimento sob a forma de equações às diferenças utilizadas na modelação do crescimento da cortiça ao nível do diâmetro à altura do peito

Função	Equações às Diferenças
Lundqvist-A (Schumacher-A para n=1)	$Y_2 = Y_1 e^{k \left(\frac{1}{t_1^n} - \frac{1}{t_2^n} \right)}$
Lundqvist-k (Schumacher-k para n=1)	$Y_2 = A \left(\frac{Y_1}{A} \right) \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^n$
Schumacher-A	$Y_2 = Y_1 e^{k \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right)}$
Schumacher-k	$Y_2 = A \left(\frac{Y_1}{A} \right) \left(\frac{t_1}{t_2} \right)$
Richards-A (Monomolecular-A para m=0)	$Y_2 = Y_1 \left(\frac{1 - e^{-kt_2}}{1 - e^{-kt_1}} \right)^{\frac{1}{1-m}}$
Richards-k (Monomolecular-k para m=0)	$Y_2 = A \left(1 - \left(1 - \left(\frac{Y_1}{A} \right)^{1-m} \right)^{\frac{t_2}{t_1}} \right)^{\frac{1}{1-m}}$
Richards-m	$Y_2 = A \left(\frac{1 - \frac{\log(1 - e^{-kt_2})}{\log(1 - e^{-kt_1})}}{1 - \frac{\log(1 - e^{-kt_2})}{\log(1 - e^{-kt_1})}} \right)^{\frac{\log(1 - e^{-kt_2})}{\log(1 - e^{-kt_1})}}_{Y_1}$
Monomolecular -A	$Y_2 = Y_1 \left(\frac{1 - e^{-kt_2}}{1 - e^{-kt_1}} \right)$
Monomolecular-k	$Y_2 = A \left(1 - \left(1 - \left(\frac{Y_1}{A} \right) \right)^{\frac{t_2}{t_1}} \right)$

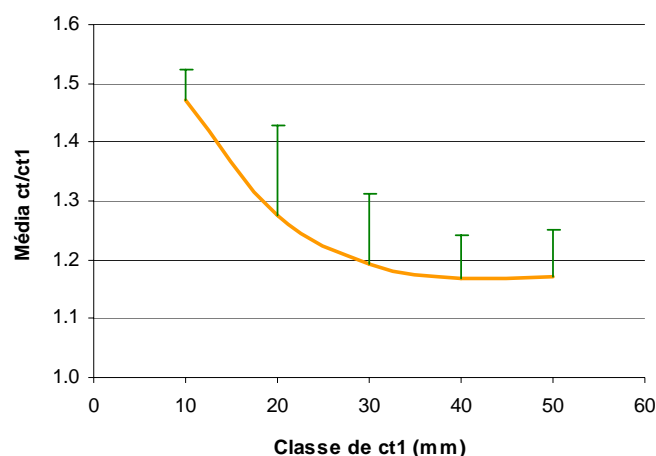


Figura 2 - Relação entre a razão ct/ct1 (calibre da cortiça e a correspondente espessura acumulada em anos completos) e a classe de ct1

Ajustamento e avaliação dos modelos

O ajustamento e avaliação dos modelos foi feito sob forma não linear, pelo método dos mínimos quadrados, com recurso a programas desenvolvidos no módulo SAS STAT, procedimento PROC NLIN (SAS, 1989).

Na avaliação da capacidade preditiva dos modelos recorreu-se à análise dos resíduos PRESS, dados por $e_{i,-i} = y_i - \hat{y}_{i,-i}$, onde y_i é a observação i ($i=1, \dots, n$) da variável resposta do modelo de regressão e $\hat{y}_{i,-i}$ é o valor estimado pelo modelo quando ajustado sem aquela observação.

Calcularam-se os valores das seguintes estatísticas para avaliar a eficiência do modelo, assim como o seu enviesamento e precisão:

- eficiência de modelação ou proporção da variação explicada pelo modelo

$$R_p^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n e_{i,-i}^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{i,-i})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2},$$

onde y é o valor médio dos valores observados da variável resposta.

A eficiência de modelação deve ser próxima de 1.

- média dos resíduos PRESS, a qual avalia o enviesamento dos modelos

$$Mrp = \frac{\sum_{i=1}^n e_{i,-i}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{i,-i})}{n}$$

A média dos resíduos PRESS deve ser próxima de zero.

- média do valor absoluto dos resíduos PRESS, a qual avalia a precisão dos modelos

$$Marp = \frac{\sum_{i=1}^n |e_{i,-i}|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_{i,-i}|}{n}$$

A média do valor absoluto dos resíduos PRESS deve ser pequena.

- Estatísticas descritivas de localização: percentis 95 (P95) e 5 (P5). Estes percentis dão-nos uma ideia da grandeza e distribuição dos resíduos de predição.

Recorreu-se à análise gráfica das médias dos resíduos PRESS e dos respectivos valores absolutos em função das classes de idade da cortiça, que permite detectar enviesamentos e/ou falta de precisão dos modelos.

Procedeu-se, ainda, à análise dos resíduos studentizados (RSTD) com o objectivo de verificar a normalidade e a homogeneidade da variância dos erros. A normalidade dos resíduos studentizados foi testada de acordo com o tamanho da amostra com o teste de Shapiro-Wilk ($n \leq 2000$). Considerando a hipótese nula do teste, H_0 = os erros têm distribuição normal, esta é rejeitada quando a probabilidade de P-value ($Pr < W$) for inferior ao nível de significância ($\alpha = 0,05$). A heterocedasticidade foi avaliada com o gráfico dos resíduos studentizados em função dos valores preditos.

O modelo final para o crescimento da cortiça foi seleccionado tendo em conta os resultados obtidos nos diversos critérios explicados.

Ajustamento do modelo de predição do calibre da cortiça e da espessura acumulada

Na modelação do calibre da cortiça em função da espessura acumulada em anos completos e da espessura acumulada em anos completos em função do calibre recorreu-se ao procedimento Proc Model (Fit) do SAS, o qual permite ajustar dois modelos simultaneamente.

Resultados e Discussão

Modelo de crescimento da cortiça

Os resultados do ajustamento dos modelos seleccionados encontram-se no Quadro 4. No Quadro 5 apresenta-se a estimativa dos parâmetros e correspondente erro padrão dos modelos ajustados.

Dos nove modelos testados apenas para os modelos Monomolecular-A, Richards-A e Lundqvist-A não foi rejeitada a hipótese de normalidade dos resíduos studentizados ($\alpha = 0,05$), pelo que os restantes foram eliminados.

Quadro 4 - Estatísticas de ajustamento e capacidade preditiva dos modelos candidatos para o crescimento da cortiça

Modelos	Mrp	Marp	P95	P5	R ² p	Pr<W
Monomolecular-A	0,056435	0,58905	1,31335	-1,08651	0,99235	0,9926
Monomolecular-k	-0,045971	0,59498	1,28188	-1,14001	0,99248	0,0001
Richards-A	0,050486	0,58916	1,30135	-1,10680	0,99234	0,9945
Richards-k	-0,036264	0,59523	1,28968	-1,12770	0,99246	0,0001
Richards-m	-0,036435	0,67902	1,53520	-1,19668	0,99035	0,0001
Schumacher-A	1,168920	1,55720	2,90962	-1,65622	0,97751	0,0001
Schumacher-k	0,195800	1,54885	3,05437	-3,68866	0,94868	0,0001
Lundqvist-A	0,048229	0,57669	1,29518	-1,12130	0,99265	0,9415
Lundqvist-k	-0,017950	0,56950	1,30711	-1,06486	0,99303	0,0001

Mrp - média dos resíduos de predição (PRESS); Marp - média do valor absoluto dos resíduos de predição (PRESS); P95 - percentil 95; P5 - percentil 5; R²p - eficiência de modelação; Pr<W - probabilidade de P-value

Nas Figuras 3 e 4 apresenta-se a relação entre a média dos resíduos de predição e a média do valor absoluto dos resíduos de predição em função da idade da cortiça, para os modelos: Monomolecular-A, Richards-A e Lundqvist-A. O modelo que apresenta maior precisão e menor enviesamento é o

modelo Lundqvist-A.

A Figura 5 mostra os gráficos dos resíduos studentizados em função dos valores estimados para os três modelos em análise. Como se pode ver, os gráficos não evidenciam problemas de heterocedasticidade.

Quadro 5 - Estimativas dos parâmetros e correspondente erro padrão dos modelos candidatos para o crescimento da cortiça

Equações	Parâmetro	Valor	Erro Padrão
Monomolecular-A	k	0,0943	0,00221
Monomolecular-k	A	61,0846	1,0451
Richards-A	k	0,0993	0,00411
	m	0,0137	0,00938
Richards-k	A	61,9403	1,4662
	m	-0,00841	0,00913
Richards-m	k	0,00817	0,00186
	A	283,7	48,3899
Schumacher-A	k	1,6897	0,0208
Schumacher-k	A	34,4443	0,4228
Lundqvist-A	k	5,1679	0,1602
	n	0,2035	0,00796
Lundqvist-k	A	1034,6	163,4
	n	0,1959	0,00731

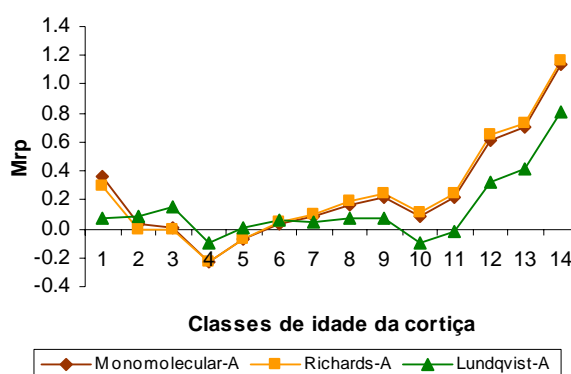


Figura 3 - Média dos resíduos de predição (Mrp) em função da idade da cortiça, dos modelos: Monomolecular-A, Richards-A e Lundqvist-A

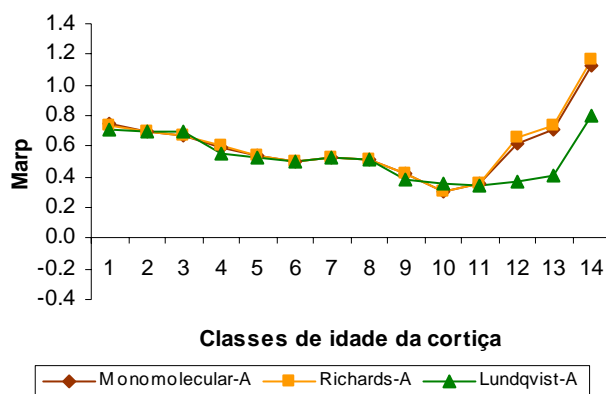


Figura 4 - Média do valor absoluto dos resíduos de predição (Marp) em função da idade da cortiça, dos modelos: Monomolecular-A, Richards-A e Lundqvist-A

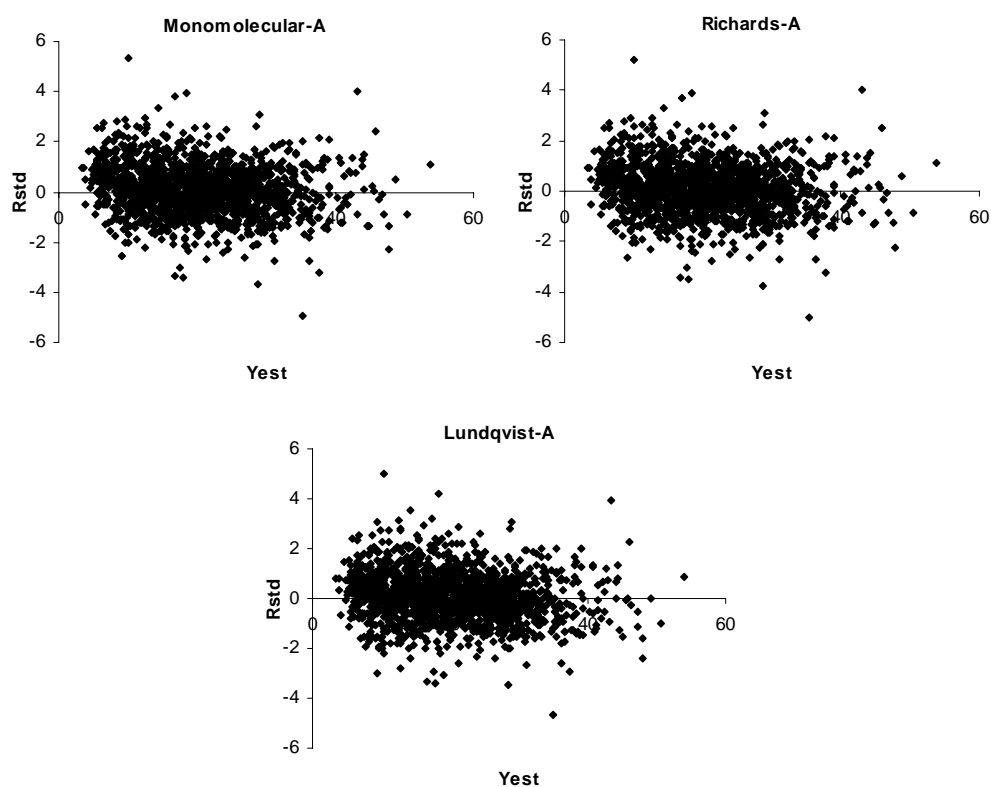


Figura 5 - Distribuição dos resíduos studentizados (Rstd) dos modelos: Monomolecular-A, Richards-A e Lundqvist-A

Assim, com base na análise dos resultados optou-se por seleccionar o modelo Lundqvist-A para a estimação do crescimento da cortiça:

$$ct1_{tc1} = ct1_{tc1-1}^e \left(\frac{1}{(tc1-1)^{0,203472}} - \frac{1}{tc1^{0,203472}} \right)^{5,167878}$$

onde: $ct1_i$ (mm) é a espessura acumulada nos primeiros i anéis completos e $tc1$ é o número de anéis (anos) completos.

O índice de crescimento da cortiça (cgi), definido como a espessura da cortiça acumulada nos primeiros 8 anos completos (TOMÉ, 2004), pode ser obtido a partir do modelo de crescimento da cortiça:

$$cgi = ct1_{tc1}^e \left(\frac{1}{tc1^{0,203472}} - \frac{1}{8^{0,203472}} \right)^{5,167878}$$

Na Figura 6 apresentam-se as curvas de crescimento da cortiça para os índices de crescimento: $cgi=15$, $cgi=25$, $cgi=35$ e

$cgi=45$, e as curvas de crescimento observadas em 4 calas (a, b, c e d) com um cgi próximo do das curvas modeladas.

Modelo de predição do calibre da cortiça e da espessura acumulada

O ajustamento simultâneo das equações para a predição do calibre da cortiça em função da espessura acumulada em anos completos e para a predição inversa, forneceu os seguintes resultados:

$$ct_{tc} = \frac{tc1}{-0,1396 + 0,8459tc1} ct1_{tc1},$$

$$ct1_{tc1} = \frac{-0,1396 + 0,8459tc1}{tc1} ct_{tc},$$

onde: ct_{tc} é o calibre da cortiça com tc anos (mm); $ct1_{tc1}$ é a espessura acumulada em $tc1$ anos completos (mm); $tc1$ é o número de anéis (anos) completos.

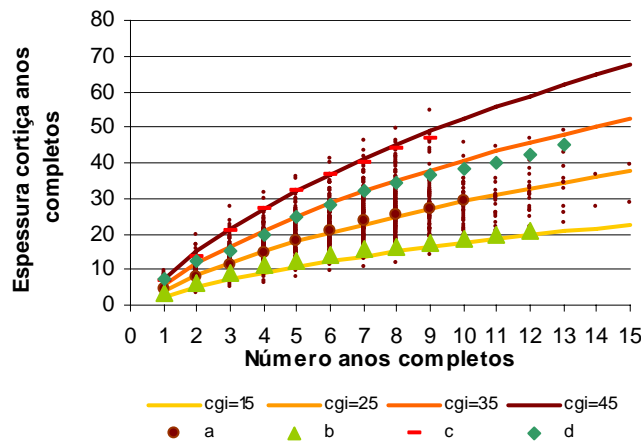


Figura 6 - Simulação do crescimento da cortiça para os índices de crescimento: $cgi=15$, $cgi=25$, $cgi=35$ e $cgi=45$. Curvas de crescimento observadas em 4 calas (a, b, c e d) com um cgi próximo do das curvas modeladas

Conclusões

O objectivo deste trabalho era o desenvolvimento de um sistema de equações que permitisse prever o crescimento da cortiça em função da idade de criação. O sistema desenvolvido tem que ser inicializado com o valor do índice de crescimento da cortiça para

cada árvore, o que implica a medição do calibre em cada árvore. Se esta medição não for possível, ou não for possível em todas as árvores, o sistema deverá ser inicializado com base em simulação do índice de crescimento da cortiça de cada árvore a partir da respectiva distribuição (para tal consultar TOMÉ, 2004).

O sistema de equações desenvolvido é o seguinte:

Modelo para o crescimento da cortiça em anéis (anos) completos (cortiça cozida):
$ct1_{tc1} = ct1_{tc1-1} e^{5,167878 \left(\frac{1}{(tc1-1)^{0,203472}} - \frac{1}{tc1^{0,203472}} \right)}$
Modelo para a predição do índice de crescimento da cortiça (cortiça cozida):
$cgi = ct1_{tc1} e^{5,167878 \left(\frac{1}{tc1^{0,203472}} - \frac{1}{8^{0,203472}} \right)}$
Modelo para a predição do calibre após cozedura em função da espessura acumulada em anéis completos:
$ct_{tc} = \frac{tc1}{-0,1396 + 0,8459tc1} ct1_{tc1}$
Modelo para a predição da espessura acumulada em anéis (anos) completos em função do calibre após cozedura:
$ct1_{tc1} = \frac{-0,1396 + 0,8459tc1}{tc1} ct_{tc}$
Predição do calibre antes da cozedura:
$ctbb = \frac{ct}{1,126}$
Símbolos: $ct1_i$ - espessura acumulada nos primeiros i anéis completos (mm); $tc1$ - número de anéis (anos) completos; cgi - índice de crescimento da cortiça; ct_{tc} é o calibre da cortiça com tc anos (mm); $ct1_{tc1}$ é a espessura acumulada em $tc1$ anos completos (mm); $ctbb$ - calibre na árvore.

Agradecimentos

Este artigo resulta do trabalho desenvolvido no âmbito do projecto de investigação SUBER-MODEL (POCTI/1999 /AGR/35173) e do projecto CarbWood-Cork (POCTI/AGR/57279/2004). Agradecemos os dados de crescimento da cortiça que nos foram facultados pela Prof.^a Helena Pereira e pelo Eng. Fernando Lopes, recolhidos no âmbito do projecto PAMAF 4053 "Caracterização da qualidade tecnológica das cortiças portuguesas".

Bibliografia

- ADRADOS, J.R., HERNÁNDEZ, F.G., HARO, R.C., 2000. *La predicción del calibre del corcho al final del turno y su aplicación al muestreo de la producción*. INIA. Madrid.
- APCOR, 2003. Uma visão para a cortiça. *Diário Económico*, coluna do sector corticeiro, 12/08/03.
- BORDERS, B.E., BAILEY, R.L., 1984. Slash pine site index from a polymorphic model by joining (splining) nonpolynomial segments with an algebraic difference method. *Forest Sci* **30**: 411-423.
- COELHO, M.B., GODINHO, J.M., RIBEIRO, F., FREIRE, J., 2002. *Suber data 2. Manual para o utilizador*. Publicações GIMREF RTG 8/2002. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. Portugal.
- LIESE, W., GUNZERODT, H., PARAMESWARAN, N., 1983. Alterações biológicas da qualidade da cortiça que afectam a sua utilização. *Cortiça* **541**: 277-299.
- NATIVIDADE, J.V., 1950. *Subericultura*. Ministério da Economia, Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas, Lisboa. 387 pp.
- PAMAF, 1999. *Caracterização da qualidade tecnológica das cortiças portuguesas*. Projecto PAMAF 4053. Instituto Superior de Agronomia, 185 pp.
- SAS, 1989. SAS/STAT – User's Guide. Versão 6. Vol. II. 4ªed. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.
- TOMÉ, M., COELHO, M. B., LOPES, F., PEREIRA, H., 1998. Modelo de produção para o montado de sobreiro em Portugal. In: H. PEREIRA (ed.), "*Sobreiro e Cortiça*", Centro de Estudos Florestais, Lisboa, pp. 22-46.
- TOMÉ, M., COELHO, M.B., PEREIRA, H., LOPES, F., 1999. A management oriented growth and yield model for cork oak stands in Portugal. In: A. Amaro e M. Tomé (Eds), *Empirical and Process-Based Models for Forest Tree and Stand Growth Simulation*, Edições Salamandra, Novas Tecnologias, Lisboa, Portugal, pp. 271-289.
- TOMÉ, M., 2004. *Modelo de crescimento e produção para a gestão do montado de sobreiro em Portugal*. Publicações GIMREF RTG 1/2004. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. Portugal.

Entregue para publicação em Junho de 2007

Aceite para publicação em Janeiro de 2008